



DEUTSCHES
PATENTAMT

21 Aktenzeichen: 196 54 303.7
22 Anmeldetag: 24. 12. 96
43 Offenlegungstag: 17. 7. 97

DE 196 54 303 A 1

30 Unionspriorität: 32 33 31
27.12.95 KR 95-59492

71 Anmelder:
Samsung Electronics Co. Ltd., Suwon, Kyungki, KR;
Korea Advanced Institute of Science and
Technology (KAIST), Taejon, KR

74 Vertreter:
Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser,
Anwaltssozietät, 80538 München

72 Erfinder:
Park, Kyu-yeon, Taejon, KR; Lee, Chong-won,
Taejon, KR; Cho, Young-ho, Taejon, KR; Song,
Ci-moo, Sungnam, KR

54 Mikrogyroskop

57 Ein Mikrogyroskop enthält ein Substrat, ein erstes Sensormittel, bei dem eine Vielzahl von streifenförmigen Anoden und Kathoden abwechselnd, feldförmig und parallel auf dem Substrat angeordnet sind, ein Treibermittel, das so angeordnet ist, daß es senkrecht zur Richtung der Streifenlänge des ersten Sensormittels auf dem Substrat ist, und bei dem eine Vielzahl von streifenförmigen Anoden und Kathoden abwechselnd und parallel feldförmig angeordnet sind, ein Schwingungsbauteil mit einer Vielzahl von ersten Furchen in Streifenform, die senkrecht von einer Ebene des ersten Sensormittels und des Treibermittels unter einer vorbestimmten Höhe im Abstand stehen und in einer Richtung übereinstimmend mit einer Richtung der Streifenlänge des ersten Sensormittels ausgebildet sind, und mit einer Vielzahl von zweiten Furchen in Streifenform, die in einer Richtung in Übereinstimmung mit einer Richtung der Streifenlänge des Treibermittels ausgebildet sind, einen Halterungsteil, der auf dem Substrat ausgebildet ist, zum Beibehalten des Schwingungsbauteils unter einer vorbestimmten Höhe von dem Substrat, und elastische Elemente zur elastischen Verbindung des Schwingungsbauteils und des Halterungsteils. Aufgrund dieses vereinfachten Aufbaus wird somit dessen Herstellung einfach und es treten kaum Probleme bei seiner Benutzung auf.

DE 196 54 303 A 1

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Mikrogyroskop und insbesondere betrifft sie ein Mikrogyroskop, bei dem eine Treiberelektrode zur Kraftanwendung auf ein Schwingungsbauteil senkrecht in bezug auf eine Ebene des Schwingungsbauteils unter diesem angeordnet ist und in dem eine Auslenkung des Schwingungsbauteils in der Ebene der Richtung des Schwingungsbauteils durch eine Coriolis-Kraft auftritt.

Ein Winkelgeschwindigkeitssensor (Gyroskop) zum Detektieren einer Winkelgeschwindigkeit eines Trägheitsobjekts ist als ein Kernelement einer Navigationsvorrichtung für Lenkflugkörper, Schiffe oder Flugzeuge verwendet worden. Bis heute wurden die Anwendungsgebiete für den Sensors aufgeweitet auf eine Navigationsvorrichtung für Kraftfahrzeuge oder eine Vorrichtung zum Detektieren und Korrigieren von Verwackeln in einer Videokamera mit hoher Vergrößerung. Ein herkömmliches Gyroskop kann genaue Winkelgeschwindigkeitsmessungen erzielen. Aufgrund seines großen Aufbaus und seiner hohen Herstellungskosten, die mit der erforderlichen Präzisionsbearbeitung und der Vielzahl von komplexen Teilen in Zusammenhang stehen, ist es jedoch nicht für allgemeine industrielle Anwendungen oder Heimelektronik geeignet.

Kürzlich wurde ein kleines Gyroskop mit an einem dreieckigen prismatischen Balken angebrachten piezoelektrischen Elementen entwickelt zur Verwendung als Verwacklungssensor in Videokameras. Zur Überwindung von Schwierigkeiten in der Herstellung des Gyroskops mit piezoelektrischen Elementen wurde ein anderes kleines Gyroskop mit einer zylindrischen Balkenstruktur entwickelt.

Da jedoch beide der zuvor genannten zwei Arten von kleinen Gyroskopen eine hohe Herstellungsgenauigkeit erfordern, ist deren Fertigung schwierig und teuer. Es ist schwierig, von der Herstellung integrierter Schaltungen bekannte Techniken auf Gyroskope zu übertragen, da die Gyroskope aus einer Vielzahl von mechanischen Teilen hergestellt sind.

Für Verbesserungen bei den oben erwähnten Gyroskopen ist ein wirtschaftlicheres und genaueres Gyroskop in Entwicklung unter Verwendung mikromechanischer Herstellungsverfahren. Das Prinzip hinter diesen Gyroskopen besteht darin, daß dann, wenn ein Trägheitsobjekt, das in einer ersten Achsenrichtung schwingt oder sich gleichmäßig dreht, eine Anwendung einer Winkelgeschwindigkeit durch Drehung in einer zweiten Achsenrichtung senkrecht zu der ersten Achsenrichtung erfährt, eine Coriolis-Kraft, die in einer dritten Achsenrichtung senkrecht sowohl zur ersten als auch zur zweiten Achse erzeugt wird, gemessen wird, um dadurch die Drehwinkelgeschwindigkeit festzustellen. Hier erhöht das Gleichgewicht der auf das Trägheitsobjekt angewendeten Kräfte die Genauigkeit der Winkelgeschwindigkeitsdetektion. Insbesondere ist ein Aufbau unter Verwendung des Gleichgewichts der Kräfte bevorzugt zur Verbreiterung der Linearität und Bandbreite eines Signals.

In Fig. 1 ist der Aufbau eines Gyroskops eines Kamm-Motortyps unter Verwendung eines Abstimmgabelmode, das durch das Charles-Stark-Draper-Laboratorium, Inc. entwickelt und in der US-Patentanmeldung Nr. 5 349 855 offenbart wurde, dargestellt. Das in Fig. 1 gezeigte Gyroskop, das durch Mikrobearbeitungsverfahren hergestellt wurde, umfaßt ein flaches Schwingungsbauteil 11, Federn 12 und 13, die mit dem Schwingungsbauteil 11 verbunden sind, und einem Kamm 14 zur Anwendung einer elektrostatischen Kraft auf das Schwingungsbauteil 11. Das Schwingungsbauteil 11 steht im Abstand von einem Substrat unter einem vorbestimmten Abstand und ist durch den durch das Bezugszeichen 15 bezeichneten Teil gehalten. Wie durch die Legende links von der Zeichnung dargestellt ist, kann das Gyroskop unterteilt werden in: eine an dem Substrat angebrachte Oberflächenelektrode, eine von dem Substrat um einen vorbestimmten Abstand im Abstand stehende hängend gehaltene Elektrode, und einen Halterungsbereich zum Haltern der hängenden Elektrode.

Das in Fig. 1 gezeigte Mikrogyroskop arbeitet durch Anwendung einer elektrostatischen Kraft an dem Kamm 14, der zu beiden Seiten des Schwingungsbauteils 11 ausgebildet ist, durch Verwendung linker und rechter Motoren 16 und 17, um dadurch eine Schwingung einer Abstimmgabelmode in einer Richtung zu erzeugen. Die eindirektionale Bewegung des Schwingungsbauteils 11 wird aus der Veränderung der Kapazität des Kamms 20, der an dessen Mitte angebracht ist, detektiert, und das detektierte Signal wird zu den Motoren 16 und 17 zurückgekoppelt. Wenn eine zum Induzieren einer Schwingung, die den instabilen Oszillationssteuergrenzyklus (unstable oscillation control limit cycle) erfüllt, geeignete Spannung auf den linken und rechten Motor 16 und 17 angewendet wird, schwingt das Bauteil kontinuierlich bei seiner Eigenfrequenz. Wenn sich das Trägheitsobjekt in einer Ebene in einer Richtung senkrecht in bezug auf die Schwingungsrichtung von der elektrostatischen Kraft der Motoren 16 und 17 erzeugten Schwingung dreht, wird eine Coriolis-Kraft in einer Richtung senkrecht zu beiden Richtungen erzeugt, d. h. in der senkrechten Richtung in bezug auf die Ebene. Die Coriolis-Kraft lenkt das Schwingungsbauteil 11 in einer Richtung senkrecht zur Ebene der Fig. 1 aus. Die Auslenkung schafft eine Torsionskraft auf das Schwingungsbauteil 11. Die Coriolis-Kraft wird detektiert durch die Detektion eines Drehmoments in dem Schwingungsbauteil 11, das detektiert wird aus der Veränderung in der Kapazität, die durch an zwei Bereichen unterhalb des Schwingungsbauteils 11 angebrachte Elektroden 22 hervorgerufen wird. Das Schwingungsbauteil 11 wird in der Z-Richtung ausgelenkt, d. h. es ist einer wie oben beschriebenen Torsion unterworfen, und eine elektrostatische Kraft wird erzeugt durch eine Drehmomentelektrode 23 für ein Kräftegleichgewichtsverfahren, das zum Kompensieren der Torsion in der Lage ist. Die Drehmomentelektrode 23 zum Schaffen eines Gleichgewichts in den Torsionskräften ist jeweils an zwei Bereichen angeordnet, die diagonal zueinander unter dem Schwingungsbauteil 11 gelegen sind. In Fig. 1 bezeichnet das Bezugszeichen 18 einen zentralen Motordetektor, die Bezugszeichen 25 und 26 bezeichnen jeweils linke und rechte Drehmomentdetektoren, die Bezugszeichen 27 und 28 bezeichnen jeweils linke und rechte Detektoren, und das Bezugszeichen 29 bezeichnet einen Ausgabeteil.

Das Gyroskop gemäß der herkömmlichen Technologie, wie es in Fig. 1 veranschaulicht ist, besitzt die folgenden Probleme. Zunächst ist es sehr schwierig, die natürliche oder Eigenfrequenz in bezug auf jede Schwingungsrichtung in dem Schwingungsbauteil 11 anzupassen. Das heißt, ein planares Schwingungsbauteil schwingt allgemein in einer Richtung parallel zu der Ebene, wie in Fig. 2A gezeigt ist, oder in einer Richtung senkrecht zur

Ebene, wie in Fig. 2B gezeigt ist, und die Eigenfrequenzen müssen in beiden Richtungen zueinander angepaßt sein. Zur Anpassung wird die Dicke und Breite der Federn 12 und 13 zur Halterung des Schwingungsbauteils 11 innerhalb eines Bereichs von vorbestimmten Fehlern bei der mechanischen Herstellung hergestellt, die zwischen einigen und mehreren zehn Angströms liegen. Da die Federn 12 und 13 getrennt voneinander hergestellt werden mit Unterschieden in der Dicke und der Breite, ist die Aufgabe des Anpassens einer jeden Eigenfrequenz in bezug auf beide Richtungen mühsam. Wenn die Eigenfrequenzen nicht bei jedem Herstellungsverfahren angepaßt werden, kann die Eigenfrequenz durch einen zusätzlichen Prozeß während des Betriebs angepaßt werden. Dieser Prozeß macht es jedoch schwierig, eine Normierung der Produkte und eine Bewältigung der Toleranzen zu erzielen.

Zur Messung der Auslenkung des Schwingungsbauteils 11 gemäß der Coriolis-Kraft in dem Mikrogyroskop der Fig. 1 muß zudem ein vorbestimmter Abstand zwischen den Elektroden 22 und 23, die an dem Substrat und an dem Schwingungsbauteil 11 angebracht sind, aufrechterhalten werden. Die Festlegung des Abstands führt folglich jedoch eine drastische Begrenzung der Auflösung, der verwendeten Frequenz und der Linearität des Gyroskops ein. Da die Empfindlichkeit des Gyroskops umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstands ist, muß der Abstand klein sein, um die Empfindlichkeit zu erhöhen. Da jedoch ein gleichförmiger Gleichstrom auf die Elektrode 22 angewendet wird zum Ansteuern eines Sensors zum Messen der Auslenkung des Schwingungsbauteils 11, berührt das Schwingungsbauteil 11 das Substrat, wenn der Abstand ziemlich eng ist. Da weiter die Veränderung in der Kapazität zwischen den Oberflächenelektroden des Substrats und dem Schwingungsbauteil 11 umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstands ist, ist die Linearität der Winkelgeschwindigkeit in einem Ausgabewert schlecht. Das Gyroskop muß geeignet entworfen sein, damit es zur Erzeugung einer großen Auslenkung in der Meßrichtung in bezug auf eine konstante Winkelgeschwindigkeit in der Lage ist, um seine Empfindlichkeit zu verbessern. Es tritt jedoch der Effekt auf, daß das Schwingungsbauteil 11 die Elektroden 22 berührt, wenn seine Auslenkung groß wird.

Die Drehmomentelektrode 23 ist an zwei diagonalen Positionen unterhalb des Schwingungsbauteils 11 angebracht, um den Berührungseffekt zu verhindern. Da jedoch ein solches herkömmliches Verfahren zu ihrer Positionierung eine Tendenz zeigt, den Abstand zwischen dem Substrat und dem Schwingungsbauteil 11 an der Stelle zu verringern, wo die Drehmomentelektrode 23 nicht angebracht ist, wenn eine Spannung an die Drehmomentelektrode 23 angelegt wird, kann die herkömmliche Positionierung nicht entsprechend durchgeführt werden. Wenn die Elastizität der Federn 12 und 13 verstärkt wird zum Kompensieren der obigen Mängel, erhöht sich folglich die Eigenfrequenz des Gyroskops, wodurch die Empfindlichkeitserhöhung in dem Gyroskop negativ beeinflußt wird.

Zur Lösung der obigen Probleme ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Mikrogyroskop zu schaffen mit einem Schwingungsbauteil mit einer Vielzahl von Furchen.

Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Mikrogyroskop zu schaffen mit einer Treiberelektrode und einer Meßelektrode, in der Anoden- und Kathodenstreifen angeordnet sind.

Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Mikrogyroskop zu schaffen mit einer Treiberelektrode und einer Meßelektrode, die senkrecht angeordnet sind unter der Ebene des Schwingungsbauteils.

Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Mikrogyroskop zu schaffen zur Anwendung einer in horizontaler und vertikaler Richtung erzeugten Antriebskraft an einem Schwingungsbauteil.

Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Mikrogyroskop zu schaffen zur Erzeugung einer Auslenkung eines Schwingungsbauteils aufgrund einer Coriolis-Kraft in einer Richtung der Ebene des Schwingungsbauteils.

Zum Lösen der obigen Aufgaben wird dementsprechend ein Mikrogyroskop geschaffen mit: einem Substrat; einem ersten Sensormittel, bei dem eine Vielzahl von streifenförmigen Anoden und Kathoden abwechselnd feldförmig und parallel auf dem Substrat angeordnet sind; einem Treibermittel, das so angeordnet ist, daß es senkrecht zur Richtung der Streifenlänge des ersten Sensormittels auf dem Substrat ist, und bei dem eine Vielzahl von streifenförmigen Anoden und Kathoden abwechselnd und parallel feldförmig angeordnet sind; einem Schwingungsbauteil mit einer Vielzahl von ersten Furchen in Streifenform, die senkrecht von einer Ebene des ersten Sensormittels und des Treibermittels unter einer vorbestimmten Höhe im Abstand stehen und in einer Richtung übereinstimmend mit einer Richtung der Streifenlänge des ersten Sensormittels ausgebildet sind, und mit einer Vielzahl von zweiten Furchen in Streifenform, die in einer Richtung in Übereinstimmung mit einer Richtung der Streifenlänge des Treibermittels ausgebildet sind; einem Halterungsteil, der auf dem Substrat ausgebildet ist, zum Beibehalten des Schwingungsbauteils unter einer vorbestimmten Höhe von dem Substrat; und elastischen Elementen zur elastischen Verbindung des Schwingungsbauteils und des Halterungsteils.

Es ist in der vorliegenden Erfindung bevorzugt, daß weiter zweite Sensormittel vorgesehen sind, die zu beiden Seiten des Treibermittels in der gleichen Form wie der der Streifenelektroden des Treibermittels angeordnet sind, zum Detektieren eines anfänglichen Schwingungszustands des Schwingungsbauteils, das mit der Eigenfrequenz schwingt.

Es ist weiter in der vorliegenden Erfindung bevorzugt, daß das erste Sensormittel an zwei parallelen Positionen auf dem Substrat angeordnet ist, und daß das Treibermittel innerhalb des ersten Sensormittels angeordnet ist.

Es ist weiter in der vorliegenden Erfindung bevorzugt, daß die Streifenform des ersten Sensormittels so ausgebildet ist, daß sie schmaler und länger ist als die des zweiten Sensormittels, und daß die Streifenform der ersten Furchen des Schwingungsbauteils so ausgebildet ist, daß sie schmaler und länger ist als die der zweiten Furchen.

Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung beispielhaft anhand einer bevorzugten Ausführungsform unter Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen näher erläutert und beschrieben. In den beiliegenden Zeichnungen

gen zeigen:

Fig. 1 eine Grundrißansicht, die ein herkömmliches MikrogYROSKOP veranschaulicht;

Fig. 2A und 2B perspektivische Ansichten, die Schwingungszustände des Schwingungsbauteils des MikrogYROSKOPS nach Fig. 1 veranschaulichen;

5 Fig. 3A eine Grundrißansicht, die einen Elektrodenaufbau eines erfindungsgemäßen MikrogYROSKOPS veranschaulicht;

Fig. 3B eine Grundrißansicht, die das Schwingungsbauteil des erfindungsgemäßen MikrogYROSKOPS veranschaulicht;

10 Fig. 4 einen senkrechten Schnitt entlang der Linie A-A der Fig. 3B in dem zusammengebauten Zustand des erfindungsgemäßen MikrogYROSKOPS;

Fig. 5 einen vertikalen Schnitt entlang der Linie B-B der Fig. 3B in dem zusammengebauten Zustand des erfindungsgemäßen MikrogYROSKOPS;

Fig. 6A und 6B Ansichten, die Schwingungszustände des Schwingungsbauteils des erfindungsgemäßen MikrogYROSKOPS veranschaulichen;

15 Fig. 7 eine Ansicht, die eine Anordnung eines allgemeinen Schwingungssystems veranschaulicht; und

Fig. 8 eine Graphik, die die Beziehung zwischen einer Federkraft und einer elektrostatischen Kraft in bezug auf einen Abstand zwischen dem Schwingungsbauteil und einer Treiberelektrode anzeigt.

Nachfolgend wird die Erfindung ausführlich beschrieben.

20 Fig. 3A ist eine Grundrißansicht einer Treiberelektrode und einer Sensorelektrode, die auf einem Scheiben- bzw. Wafersubstrat eines erfindungsgemäßen MikrogYROSKOPS ausgebildet sind. Fig. 3B ist eine Grundrißansicht eines Schwingungsbauteils.

25 Bezug nehmend auf Fig. 3A besitzt eine erste Sensorelektrode 31 Anoden- und Kathodenstreifen, die abwechselnd auf einem Substrat nebeneinander liegen. Die ersten Sensorelektroden 31 sind zu beiden Seiten einer Treiberelektrode 32 angeordnet. Die Treiberelektrode 32 ist durch abwechselnde und parallele, in Feldform angeordnete Anoden- und Kathodenstreifen senkrecht zu der ersten Sensorelektrode 31 gebildet. Die Streifen der Treiberelektrode 32 sind breiter und kürzer als jene der ersten Sensorelektrode 31. Die erste Sensorelektrode 31 stellt eine Auslenkung des Schwingungsbauteils aufgrund einer Coriolis-Kraft fest, und die Treiberelektrode 32 ist zum Anwenden von Kraft auf das Schwingungsbauteil vorgesehen.

30 Eine zweite Sensorelektrode 33 ist an jedem Ende der Treiberelektrode 32 angeordnet und weist die gleiche Form auf wie jene der Treiberelektrode 32. Die zweite Sensorelektrode 33 stellt die Schwingung des Schwingungsbauteils fest und wendet eine Spannung an die Treiberelektrode 32 an, welche einen instabilen Oszillationssteuergrenzyklus erfüllt, so daß ein Schwingungsbauteil 34 kontinuierlich bei seiner Eigenfrequenz schwingen kann. Die Richtungen der Streifen der Treiberelektrode 32 und der zweiten Sensorelektrode 33 sind senkrecht zu jenen der ersten Sensorelektrode 31.

35 In Fig. 3B ist ein Schwingungsbauteil 34 an einer vorbestimmten Position im Abstand von den Elektroden 31, 32 und 33 auf dem Substrat, die in Fig. 3A gezeigt sind, angeordnet. Das Schwingungsbauteil 34 ist aus einer Platte hergestellt, die über den Sensorelektroden 31 und 33 und der Treiberelektrode 32 ausgebildet ist, auf welcher erste und zweite Furchen (grooves) 35 und 36 ausgebildet sind. Die Richtungen der ersten und zweiten Furchen 35 und 36 sind die gleichen wie jene der einzelnen Elektrodenstreifen, die unter dem Schwingungsbauteil 34 angeordnet sind. Das heißt, die Richtungen der ersten Furchen 35 sind gleich zu jenen der Streifen der ersten Sensorelektrode 31, und jene der zweiten Furchen 36 sind gleich zu jenen der Streifen der Elektroden 32 und 33.

40 Eine Feder 38 ist mit dem Schwingungsbauteil 34 verbunden und stellt auch eine Verbindung mit Halterungen 39 dar, die mit einer vorbestimmten Höhe von dem Substrat ausgebildet sind. Die Federn 38, die mit vier Eckpunkten des rechteckigen Schwingungsbauteils 34 verbunden sind, sind mit den Halterungen 39, die zu beiden Seiten des Schwingungsbauteils 34 angeordnet sind, verbunden, so daß eine Schwingung auftritt, bis das Schwingungsbauteil 34 eine Treiberkraft erhält.

45 Fig. 4 ist ein entlang der Linie A-A der Fig. 3B genommener Schnitt, in dem die Elektroden des Substrats, die in Fig. 3A gezeigt sind, an das in der Fig. 3B gezeigte Schwingungsbauteil angebracht sind. Die Treiberelektrode 32 besitzt Anoden- und Kathodenstreifen, die abwechselnd auf dem Substrat angeordnet sind. Das Schwingungsbauteil 34 mit seinen darin ausgebildeten zweiten Furchen 36 ist an einer Position oberhalb des Substrats unter einer vorbestimmten Höhe angeordnet.

50 Fig. 5 ist ein entlang der Linie B-B der Fig. 3B genommener Schnitt, bei dem die Elektroden und das Schwingungsbauteil zusammengefügt sind. Die Sensorelektrode 31, deren Anoden- und Kathodenstreifen abwechselnd feldförmig ausgebildet sind, sind auf dem Substrat angeordnet. Das Schwingungsbauteil 34 mit den ersten Furchen 35 ist oberhalb des Substrats unter einer vorbestimmten Höhe positioniert.

Der Betrieb und der Aufbau des erfindungsgemäßen Gyroskops wird nun beschrieben.

55 Fig. 7 veranschaulicht ein Modell eines Schwingungssystems, wie eines Gyroskops, anhand eines idealisierten Modells. Ein Schwingungselement mit einer Masse m wird durch Federn in den X- und Y-Richtungen gehalten. Bei einem solchen Schwingungssystem kann eine externe Kraft f , die auf das Schwingungselement angewendet wird, so daß es in der X-Achsenrichtung schwingt, wie folgt ausgedrückt werden.

$$f = F \sin(\omega t)$$

60 Hier bezeichnet F die maximale externe Kraft, die auf die Schwingungsstruktur angewendet wird, und ωt stellt einen Drehwinkel zu einer Zeit t bei einer Winkelgeschwindigkeit ω dar.

In diesem Fall können die Auslenkungen (X) und die Geschwindigkeit (V) des Schwingungselements, das sich in der X-Richtung bewegt, wie folgt ausgedrückt werden.

$$x = - \frac{FQ_x}{k_x} \cos(\omega t) \quad \text{und} \quad v_x = \frac{FQ_x \omega}{k_x} \sin(\omega t)$$

5

Hier ist x die Auslenkung entlang der X-Achse, und v_x ist die Geschwindigkeit des Schwingungselements entlang der X-Achse. Zudem ist k_x eine Federkonstante in der Richtung der X-Achse. Die Auslenkung y , die entlang der Y-Achse aufgrund der in Proportion zu einer angewendeten Winkelgeschwindigkeit erzeugten Coriolis-Kraft auftritt, wird wie folgt berechnet.

10

$$y = \frac{2FQ_x Q_y}{\omega k} \Omega \sin(\omega t)$$

15

Hier sind Q_x und Q_y jeweils Konstanten in bezug auf die X- und Y-Achse, und Ω ist die angewendete Winkelgeschwindigkeit. k bezeichnet eine Federkonstante. Somit kann die Drehwinkelgeschwindigkeit eines Trägheitsobjekts gemessen werden durch Detektieren der Auslenkung y .

20

Bezug nehmend auf die Fig. 3 bis 6 entspricht in dem erfindungsgemäßen Mikrogyroskop die Masse m der Masse des Schwingungsbauteils 34, und bei Anwendung einer der Eigenfrequenz des Schwingungsbauteils 34 entsprechenden Wechselspannung an die Treiberelektrode 32 schwingt das Schwingungsbauteil 34 in der Richtung der Ebene senkrecht zu den Streifen der Treiberelektrode 32. Da die Längsrichtung der zweiten Furchen 36, die auf dem Schwingungsbauteil 34 ausgebildet sind, parallel zu jenen der Streifen der Treiberelektrode 32 ist, ist die Schwingungsrichtung des Schwingungsbauteils 34, das durch die Treiberelektrode 32 angeregt wird, senkrecht zur Längsrichtung der zweiten Furchen 36.

25

Da wie oben beschrieben die Anoden und die Kathoden der Ansteuerungselektrode 32 abwechselnd, parallel und in Feldform ausgebildet sind, sind die Richtung der zwischen der Anode und dem Schwingungsbauteil 34 erzeugten elektrostatischen Kraft, wenn die Wechselspannung positiv ist, und die Richtung der zwischen der Kathode und dem Schwingungsbauteil 34 erzeugten elektrostatischen Kraft, wenn die Wechselspannung negativ ist, zueinander entgegengesetzt. Somit kann das Schwingungsbauteil 34 gemäß der Anwendung der Wechselspannung schwingen.

30

Da die Treiberelektrode 32 feldförmig und senkrecht in bezug auf das Schwingungsbauteil 34 angeordnet ist, wird nun die elektrostatische Kraft in der senkrechten Richtung gemäß der an die Treiberelektrode 32 angelegten Spannung angewendet. Dementsprechend wirkt die zusammengesetzte Kraft der Treiberkräfte, die auf das Schwingungsbauteil 34 wirken, in einer schiefen Richtung.

35

Die Treiberkraft f , die durch Anwenden einer Wechselspannung an die Treiberelektrode 32 erzeugt wird, kann wie folgt ausgedrückt werden.

40

$$f = \frac{\epsilon L_x V^2 n_x}{2 h}$$

45

Hier ist f die Treiberkraft; ϵ ist die dielektrische Konstante der Luft; L_x ist die Länge der Treiberelektrode 32; n_x ist die Anzahl von Paaren der Treiberelektrode 32; V ist die Treiberspannung; und h ist der Abstand zwischen dem Schwingungsbauteil 34 und der Treiberelektrode 32.

Die durch die Treiberkraft der Treiberelektrode 32 hervorgerufene anfängliche Schwingung wird aus der Veränderung in der Kapazität zwischen dem äußersten Teil 37 des Schwingungsbauteils 34 und der zweiten Sensorelektrode 33 festgestellt. Aus dem festgestellten Signal wird eine Spannung, die den instabilen Oszillationssteuergrenzzyklus erfüllt, auf die Treiberelektrode 32 angewendet, um dadurch eine kontinuierliche Schwingung in dem Schwingungsbauteil 34 bei seiner Eigenfrequenz zu erzeugen.

50

Wenn das Schwingungsbauteil 34 die Kraft einer Winkelgeschwindigkeit in einer senkrechten Richtung in bezug auf die Substratebene in einem Zustand erfährt, bei dem das Schwingungsbauteil 34 eine solche Treiberkraft empfängt, wird das Schwingungsbauteil 34 aufgrund einer Coriolis-Kraft ausgelenkt. Die Richtung der Auslenkung durch die Coriolis-Kraft ist senkrecht zur Kraftanwendungsrichtung von der Treiberelektrode 32 in der Ebene des Schwingungsbauteils 34. Fig. 6A zeigt die Treibermode der Treiberelektrode 32, und Fig. 6B zeigt die Auslenkung des Schwingungsbauteils 34 aufgrund der Coriolis-Kraft.

55

Die durch die Coriolis-Kraft induzierte Auslenkung des Schwingungsbauteils 34 erzeugt eine Veränderung der Kapazität zwischen der ersten Sensorelektrode 31 und dem Schwingungsbauteil 34. Wie oben beschrieben, umfaßt die erste Sensorelektrode 31 Kathoden- und Anodenstreifen, die abwechselnd, parallel und in Feldform angeordnet sind. Da eine Vielzahl von ersten Furchen 35 mit Streifenform an einem Teil des Schwingungsbauteils 34 ausgebildet ist, der vertikal über der ersten Sensorelektrode 31 angeordnet ist, verändert sich die Kapazität zwischen dem Schwingungsbauteil 34 und der ersten Sensorelektrode 31, wenn sich das Schwingungsbauteil 34 in einer Richtung senkrecht zur Längsrichtung der ersten Sensorelektroden 31 oder der ersten Furchen 35 des Schwingungsbauteils 34 aufgrund der Coriolis-Kraft bewegt. Dementsprechend kann die Aus-

60

65

lenkung des Schwingungsbauteils 34 aufgrund der Coriolis-Kraft in der ersten Sensorelektrode 31 gemessen werden. Da wie oben beschrieben die Anode und die Kathode der ersten Sensorelektrode 31 abwechselnd, parallel und in Feldform angeordnet sind, kehren sich Veränderungen in der Kapazität in bezug auf die Anode und Kathode um. Die Auslenkung durch die Coriolis-Kraft wird gemessen durch Berechnen des Unterschieds in der durch die Anode und Kathode induzierten Kapazität. Der Unterschied ΔC der Kapazität zwischen beiden Elektroden kann wie folgt ausgedrückt werden.

$$\Delta C = \frac{2 n_y \epsilon L_y y}{h}$$

Hier ist n_y die Anzahl von Paaren von Anoden und Kathoden in der Sensorelektrode 31; ϵ ist die dielektrische Konstante von Luft; L_y ist die Länge der ersten Sensorelektroden 31; h ist der Abstand zwischen den ersten Sensorelektroden 31 und dem Schwingungsbauteil 34. Durch Verwenden einer allgemeinen Schaltung zum Feststellen der Veränderung der Kapazität kann ein Winkelgeschwindigkeitssignal detektiert werden.

Da das Schwingungsbauteil 34 durch die von den auf dem Substrat angeordneten Treiberelektroden 32 erzeugte elektrostatische Kraft angetrieben wird, kann in der oben beschriebenen vorliegenden Erfindung die Treiberkraft unterteilt werden in eine horizontale Komponente parallel zu einer Ebene des Schwingungsbauteils 34 und eine vertikale Komponente senkrecht zu der Ebene. Somit kann ein Effekt des Anhaftens des Schwingungsbauteils 34 an dem Substrat aufgrund der elektrostatischen Kraft in der vertikalen Komponente verhindert werden. Wenn eine Treiberspannung auf die Treiberelektrode 32 angewendet wird und eine Vorspannung auf die erste Sensorelektrode 31 angewendet wird, kann die elektrostatische Kraft f_b in der senkrechten Richtung wie folgt ausgedrückt werden.

$$f_b = \frac{\epsilon A_a V_p^2}{2 h^2} + \frac{\epsilon A_s V_b^2}{2 h^2}$$

Hier ist ϵ die dielektrische Konstante von Luft, A_a ist die Fläche des Schwingungsbauteils 34, auf die die elektrostatische Kraft der Treiberspannung angewendet wird; V_p ist der maximale Wert der Treiberspannung; A_s ist die Fläche des Schwingungsbauteils 34, auf die die elektrostatische Kraft durch die erste Sensorelektrode 31 angewendet wird; V_b ist die auf die erste Sensorelektrode 31 angewendete Vorspannung; und h ist der Abstand zwischen dem Schwingungsbauteil 34 und der ersten Sensorelektrode 31.

Wenn eine bestimmte Deformation aufgrund der elektrostatischen Kraft in dem Schwingungsbauteil 34 auftritt, wird eine elastische rücktreibende Kraft durch die Feder 38 erzeugt. Die Kraft f_k der Feder 38 kann wie folgt ausgedrückt werden.

$$f_k = k_g (h_0 - h)$$

Hier ist k_g die Federkonstante in bezug auf die Längsrichtung eines Streifens der Treiberelektrode 32; h_0 ist ein Abstand zwischen dem Schwingungsbauteil 34 und der Treiberelektrode 32 vor Erhalt der elektrostatischen Kraft; und h ist ein Abstand zwischen dem Schwingungsbauteil 34 und der Treiberelektrode 33 nach der Deformation aufgrund der elektrostatischen Kraft.

Das Schwingungsbauteil 34 schwingt zwischen den Positionen, an denen die elastische Kraft der Feder 38 und die elektrostatische Kraft im Gleichgewicht sind. Die Beziehung zwischen dem Abstand und der Kraft ist in einer Grafik in der Fig. 8 gezeigt. Die Federkraft, die durch eine gerade Linie angezeigt ist, und die elektrostatische Kraft, die durch eine Kurve angezeigt ist, schneiden sich an den Punkten P und Q in dem Graphen. Der Punkt P ist jedoch ein Gleichgewichtspunkt, wo die Kräfte stabil werden, und somit erkennt man, daß die Kräfte von beweglichen Teilen im Gleichgewicht sind, wenn die maximale Spannung an die Treiberelektrode 32 angewendet wird. Da der Abstand zwischen dem Schwingungsbauteil 34 und den Elektroden groß genug ist, kann man erkennen, daß das Schwingungsbauteil 34 im Abstand von der Oberfläche der Elektroden unter einem konstanten Abstandsintervall schwingt.

Wie oben beschrieben wurde, weist das erfindungsgemäße Mikrogyroskop einen vereinfachten Aufbau auf, so daß seine Herstellung einfach ist und es ein verbessertes Betriebsverhalten aufweist, ohne die Möglichkeit eines fehlerhaften Betriebs. Da zudem der Anpassungsvorgang der Eigenfrequenzen in bezug auf die beiden Achsen, der das Betriebsverhalten des Mikrogyroskops unter Verwendung eines zweiachsigen Schwingungsbauteils bestimmt, aufgrund des Aufbaus des Schwingungsbauteils in einem einzigen Prozeß ausgeführt werden kann, kann der Prozeß vereinfacht werden und die Anpassungsgenauigkeit der Eigenfrequenzen kann verbessert werden. Weiter können die Funktionen des Gegenstands verwirklicht werden, ohne daß das Schwingungsbauteil die Elektroden berührt, durch Anpassung der elektrostatischen Kraft der Treiberelektrode und der Kraft der Feder.

In der herkömmlichen Technologie wird die Auslenkung des Schwingungsbauteils aufgrund der Coriolis-Kraft aus der Veränderung der Kapazität gemäß der Veränderung des Abstands festgestellt, wenn das Schwingungsbauteil auf die Sensorelektroden, die vertikal darunter angeordnet sind, zugeht oder sich davon entfernt, und dementsprechend wird eine nichtlinear Ausgabe, die umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstands

ist, detektiert. Da sich jedoch in der vorliegenden Erfindung das Schwingungsbauteil in einer Richtung parallel zu der vertikal darunter angeordneten Sensorelektrode bewegt, kann die Auslenkung aufgrund der Coriolis-Kraft aus der Veränderung der Kapazität in bezug auf die obige Auslenkung gemessen werden. Somit wird die Linearität der Ausgabe verbessert.

Es sei bemerkt, daß die vorliegende Erfindung nicht auf die oben beschriebene bevorzugte Ausführungsform beschränkt ist, und es ist offensichtlich, daß Abwandlungen und Veränderungen durch den Fachmann durchführbar sind, ohne vom in den beiliegenden Ansprüchen bestimmten Bereich der Erfindung abzuweichen.

Patentansprüche

1. Ein Mikrogyroskop mit:

einem Substrat;

einem ersten Sensormittel, bei dem eine Vielzahl von streifenförmigen Anoden und Kathoden abwechselnd feldförmig und parallel auf dem Substrat angeordnet sind;

einem Treibermittel, das so angeordnet ist, daß es senkrecht zur Richtung der Streifenlänge des ersten Sensormittels auf dem Substrat ist, und bei dem eine Vielzahl von streifenförmigen Anoden und Kathoden abwechselnd und parallel feldförmig angeordnet sind;

einem Schwingungsbauteil mit einer Vielzahl von ersten Furchen in Streifenform, die senkrecht von einer Ebene des ersten Sensormittels und des Treibermittels unter einer vorbestimmten Höhe im Abstand stehen und in einer Richtung übereinstimmend mit einer Richtung der Streifenlänge des ersten Sensormittels ausgebildet sind, und mit einer Vielzahl von zweiten Furchen in Streifenform, die in einer Richtung in Übereinstimmung mit einer Richtung der Streifenlänge des Treibermittels ausgebildet sind;

einem Halterungsteil, der auf dem Substrat ausgebildet ist, zum Beibehalten des Schwingungsbauteils unter einer vorbestimmten Höhe von dem Substrat; und

elastischen Elementen zur elastischen Verbindung des Schwingungsbauteils und des Halterungsteils.

2. Ein Mikrogyroskop gemäß Anspruch 1, das weiter ein zweites Sensormittel umfaßt, das zu beiden Seiten des Treibermittels in der gleichen Form wie die Elektrodenstreifen des Treibermittels angeordnet ist und einen anfänglichen Schwingungszustand des Schwingungsbauteils, das bei der Eigenfrequenz schwingt, detektieren kann.

3. Ein Mikrogyroskop gemäß Anspruch 1, wobei das erste Sensormittel an zwei parallelen Positionen auf dem Substrat angeordnet ist, und wobei das Treibermittel innerhalb des ersten Sensormittels angeordnet ist.

4. Ein Mikrogyroskop gemäß Anspruch 2, wobei das erste Sensormittel an zwei parallelen Positionen auf dem Substrat angeordnet ist, und wobei das Treibermittel innerhalb des ersten Sensormittels angeordnet ist.

5. Ein Mikrogyroskop gemäß Anspruch 1, wobei die Streifenform des ersten Sensormittels so ausgebildet ist, daß sie enger und länger sind als jene des zweiten Sensormittels, und die Streifenform der ersten Furchen des Schwingungsbauteils so ausgebildet ist, daß sie enger und länger sind als jene der zweiten Furchen.

6. Ein Mikrogyroskop gemäß Anspruch 2, wobei die Streifenform des ersten Sensormittels so ausgebildet ist, daß sie enger und länger sind als jene des zweiten Sensormittels, und die Streifenform der ersten Furchen des Schwingungsbauteils so ausgebildet ist, daß sie enger und länger sind als jene der zweiten Furchen.

7. Ein Mikrogyroskop gemäß Anspruch 1, wobei ein Bereich des Schwingungsbauteils, wo die ersten Furchen ausgebildet sind, dem ersten Sensormittel, das vertikal darunter positioniert ist, entspricht, und ein Teil des Schwingungsbauteils, wo die zweiten Furchen ausgebildet sind, dem Treibermittel und dem zweiten Sensormittel, die vertikal darunter positioniert sind, entspricht.

8. Ein Mikrogyroskop gemäß Anspruch 2, wobei ein Teil des Schwingungsbauteils, wo die ersten Furchen ausgebildet sind, dem ersten Sensormittel, das vertikal darunter positioniert ist, entspricht, und ein Teil des Schwingungsbauteils, wo die zweiten Furchen ausgebildet sind, dem Treibermittel und dem zweiten Sensormittel, die vertikal darunter positioniert sind, entspricht.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

FIG. 1 STAND DER TECHNIK

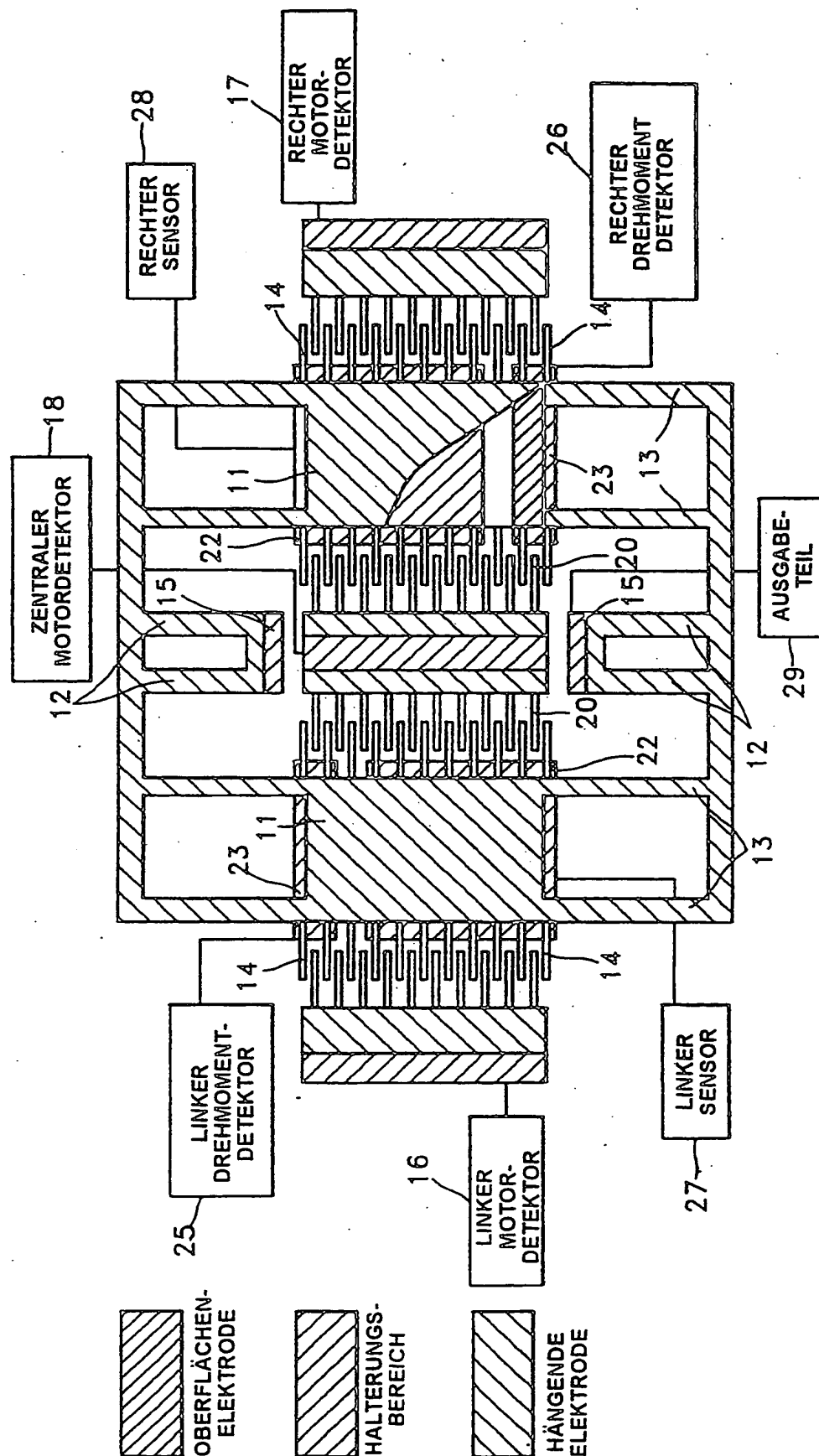


FIG. 2A STAND DER TECHNIK

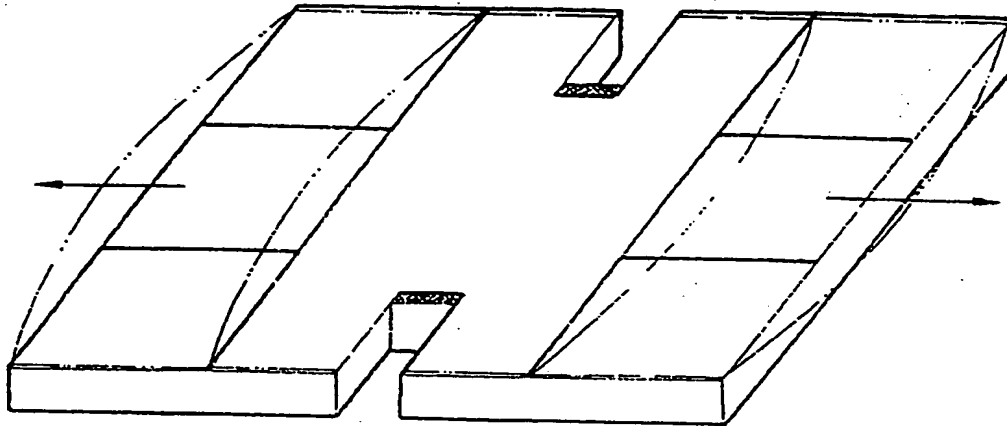


FIG. 2B STAND DER TECHNIK

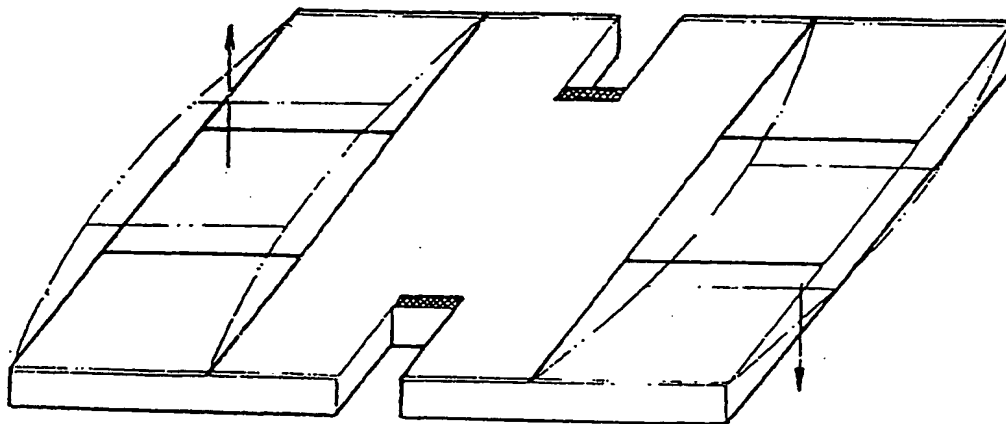


FIG. 3A

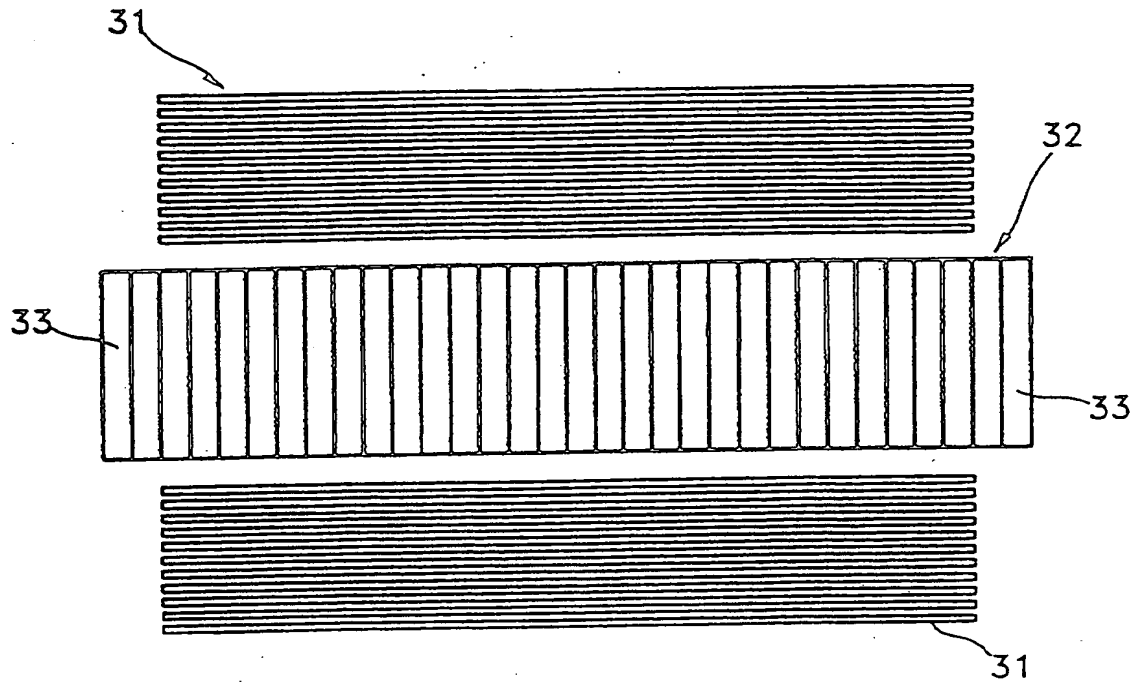


FIG. 3B

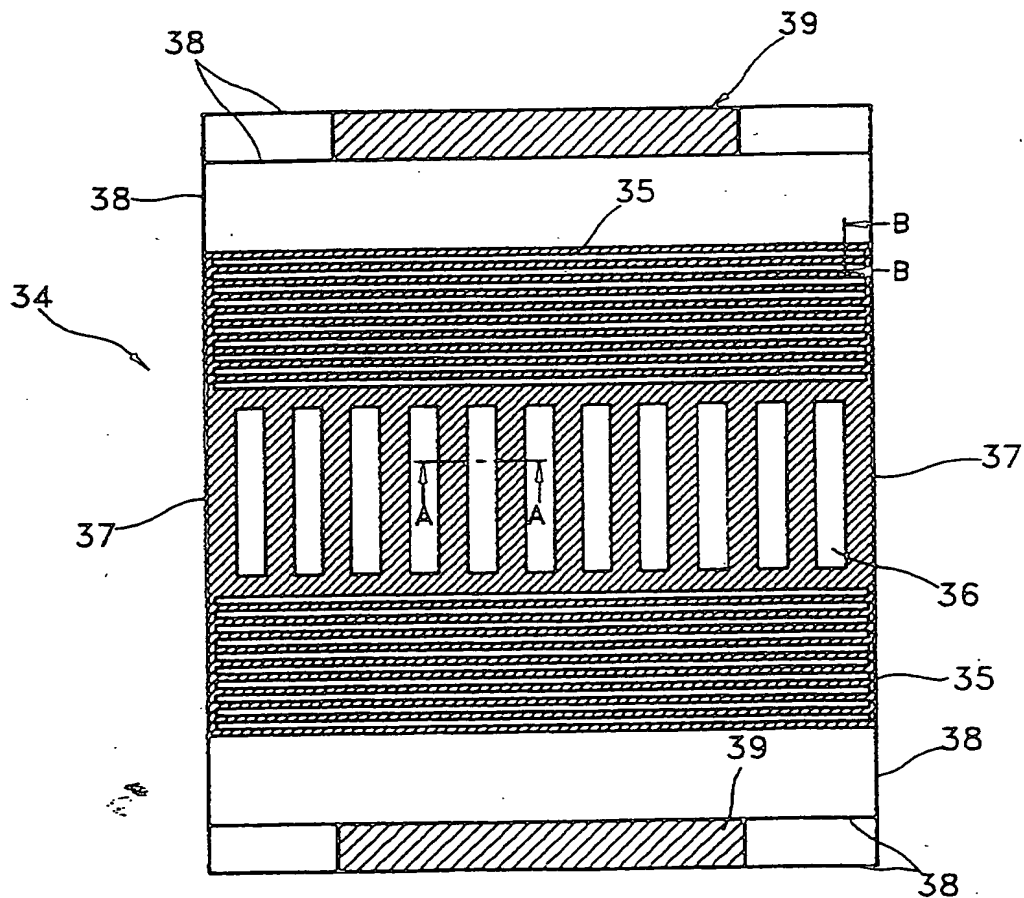


FIG. 4

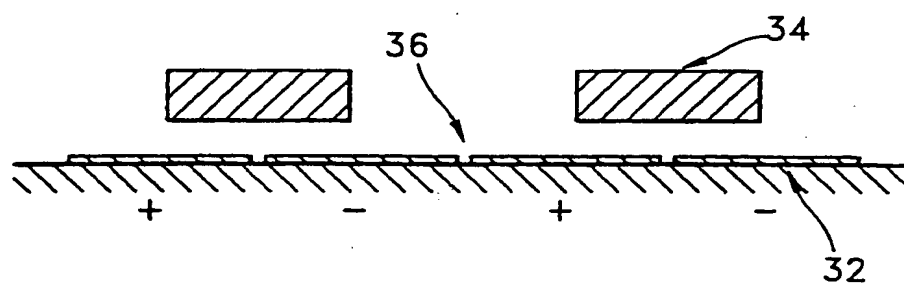


FIG. 5

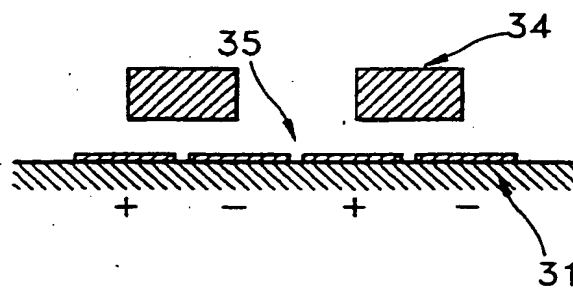


FIG. 6A

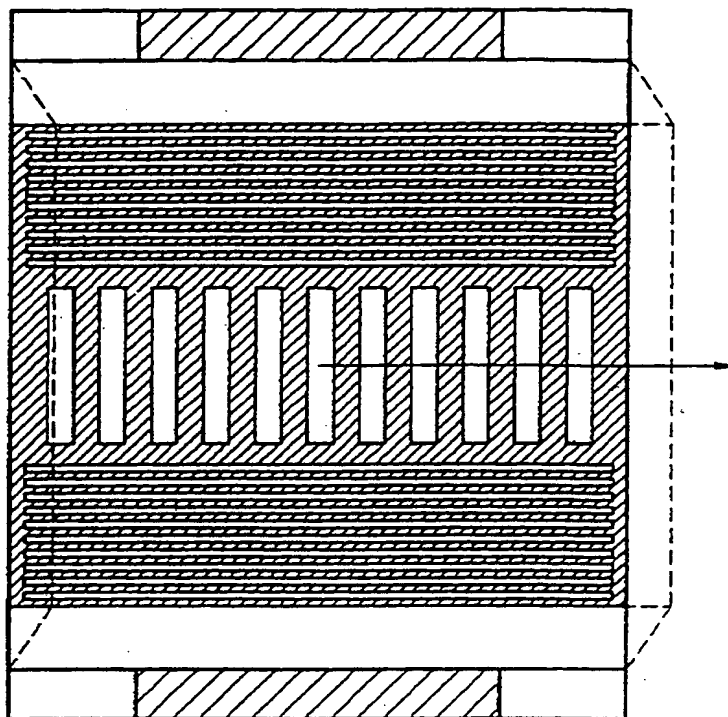


FIG. 6B

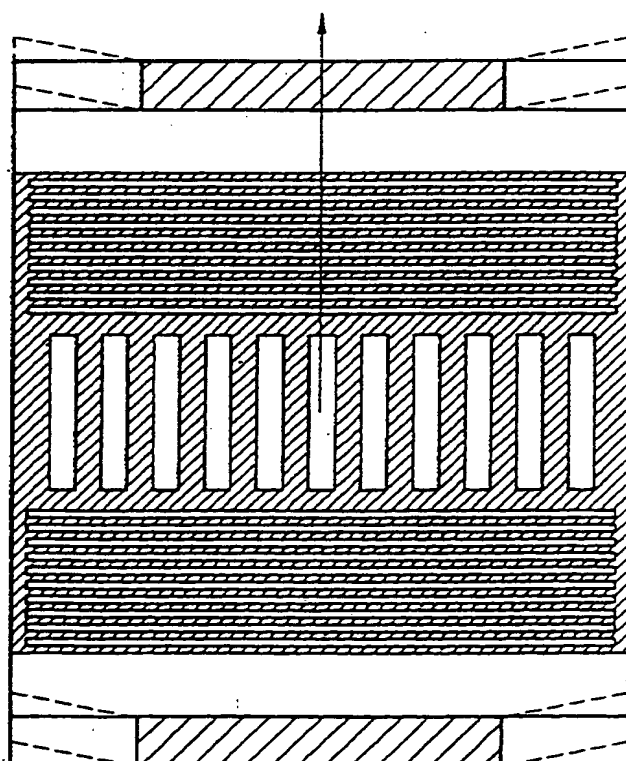


FIG. 7

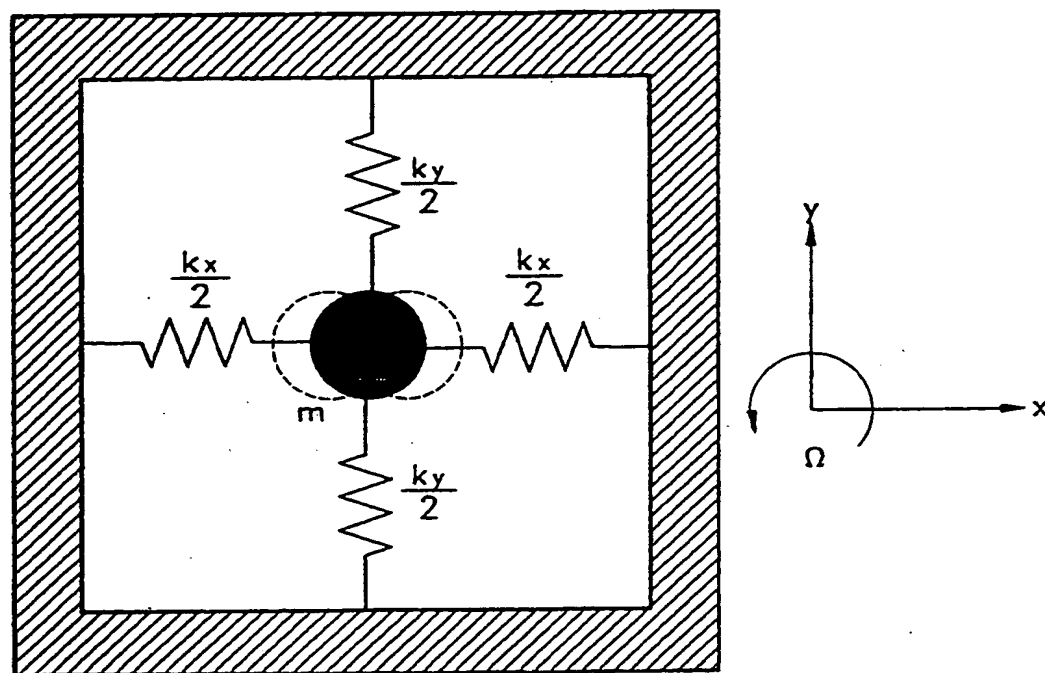


FIG. 8

